

Respiración de dióxido de carbono de suelo, en bosque tropical húmedo – Gamboa Panamá

Carbon Dioxide Soil Respiration in a Tropical Rainforest – Gamboa, Panama

Eny Zahily Serran ^{1*}, María Nuñez², Erick Valleter³

¹Facultad de Ingeniería Civil Centro Regional de Azuero, Universidad Tecnológica de Panamá

^{2,3} Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá

¹ eny.serrano@utp.ac.pa, ² maria.nunez@utp.ac.pa, ³erick.vallester@utp.ac.pa

Resumen— El almacenamiento del carbono en el suelo se produce a través de la formación y descomposición de la materia orgánica. Esta última es el producto del aporte constante de nutrientes al suelo por la acumulación de elementos como hojas, ramas, frutos, corteza y árboles enteros, que al descomponerse produce una serie de elementos que ayudan al crecimiento de árboles y otras plantas y la producción de CO₂ en el suelo.

El presente estudio precisa cuantificar la cantidad de CO₂ que fluye en el suelo de un bosque tropical húmedo, específicamente en una parcela de una hectárea (1 ha) ubicada en Cerro Pelado Gamboa, dentro de la cuenca del Canal de Panamá. Se utilizó un equipo marca Li-COR modelo 6400 XT -09 y que consta de un sistema de cámaras cerradas para medir en un tiempo corto la tasa de cambio de concentración de CO₂ a través la superficie del suelo.

En la parcela se establecieron 21 puntos de muestreo donde además del flujo de CO₂ se midieron la temperatura de suelo, porcentaje de humedad de suelo, intensidad lumínica y pendiente. Los resultados muestran que la tasa de flujo de CO₂ en suelo fue de 49.33 t CO₂ ha-1año-1 y que la temperatura y la humedad del suelo ejercen un control significativo sobre la emisión de este gas hacia la atmosfera.

Palabras claves— Analizador de gas Infrarrojo (IRGA), bosques tropicales, cambio climático, dióxido de carbono, emisiones de gases de efecto invernadero, respiración celular, reservorio.

Abstract— Carbon storage in the soil occurs through the formation and decomposition of organic matter. The constant supply of nutrients to the soil by the accumulation of elements such as leaves, twigs, fruit, bark and trees, which on decomposition produces a number of elements that help the growth of trees and other plants and production of CO₂ in the soil.

The current study search for quantify CO₂ soil flux in a 1 ha plot locate at Cerro Pelado Gamboa in the Panama Canal watershed. Close chambers system Li-COR 6400 XT-09 equipment was used to estimate in a short time the concentration rate of CO₂ through soil surface.

21 sampling points were defined into the plot where CO₂ flux, soil temperature, soil moisture; light intensity and slop measurements were carried out. Results show that the CO₂ soil rate flux was 49.33 t CO₂ ha-1 yr-1 and temperature and soil moisture exert significant control over emission rates of this gas into the atmosphere.

Keywords— Infrared gas analyzer (IRGA), tropical forests, climate change, carbon dioxide, greenhouse gas emissions, cellular respiration, reservoir.

Tipo de Artículo: Original

Fecha de Recepción: 27 de febrero de 2017

Fecha de Aceptación: 25 de septiembre de 2017

1. Introducción

Los bosques funcionan como fuente y reservorio de Carbono del planeta, contienen el equivalente del 37%, sin embargo, sirven como sumideros aportando a la

atmósfera 3 Pg C año-1. La vegetación terrestre contiene como reservorio 650 Gt, el suelo contiene 1,500 Gt de carbono orgánico y 1700 Gt de carbono inorgánico, esto a una profundidad menor a 1 metro

[1],[2]. Las aportaciones brindadas por el suelo han sido valoradas en diversos ecosistemas con la finalidad de evaluar el reciclaje de los nutrientes y la dinámica entre raíces, actividad microbiana y flujo de carbono entre otros procesos [3], [4].

El inicio de la revolución industrial, aumentan las emanaciones de gases de efecto de invernadero (GEI) a la atmósfera, incrementando 70% desde los años 70 hasta el 2004, siendo el dióxido de carbono el gas más predominante. Las emisiones mundiales de GEI, asciende a 197.4 Gt CO₂-eq/año, de los cuales un 73.9% equivale a flujos de CO₂ producidos por combustibles de origen fósil y otras fuentes, además la deforestación degradación y turba [5].

Estudios establecidos en Panamá indican que la Biomasa Terrestre para un bosque tropical secundario (Cerro Pelado Gamboa) contiene 156.80 Mg ha⁻¹, la biomasa subterránea 37.63 Mg ha⁻¹, teniendo un total de biomasa de 193.43 Mg ha⁻¹, lo que representa 97.21 Mg ha⁻¹, de carbono [6], reafirmando la importancia de la biomasa en el ecosistema. Al igual que la biomasa terrestre, el suelo cumplen un papel fundamental en los flujos de carbono en los ecosistemas, aún existe mucha incertidumbre acerca de la dinámica de la respiración del suelo en los bosques tropicales. Los pocos estudios en Panamá sobre el flujo de carbono (CO₂) en suelo, la falta de conocimientos, equipos y recursos destinados a estudios de investigación, despierta el interés de desarrollar este estudio, el cual tiene como objetivo cuantificar la tasa de respiración de suelo en una hectárea de un Bosque Húmedo Tropical.

2. Materiales y Método

Esta investigación se realizó en una (1) parcela permanente la cual tiene un perímetro cuadrada de una (1) hectárea, ubicada en el Observatorio de Hidrología Tropical en Cerro Pelado (OHTCP), de la Universidad Tecnológica de Panamá. El OHTCP está ubicado en Gamboa dentro de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá figura 1. La comunidad de Gamboa alberga muchas hectáreas de bosque tropical húmedo y una extensa longitud de río Chagres (principal afluente del Canal de Panamá), los cuales han sido conservados y estudiados desde la creación del Canal.



Figura 1. Mapa de localización geográfica.
Fuente: Autor

El período de estudio se prolongó durante toda la época de verano un período aproximado de 5 meses entre noviembre del año 2008 a abril de 2009, se determinaron parámetros ambientales (intensidad lumínica, tipo de suelo, temperatura de suelo, humedad de suelo, pendiente.

Para determinar la ubicación de los puntos de muestreo se utilizó ARGIS software especializado para el manejo de los Sistemas de información Geográfica, en el que se generaron mapas topográficos, tramados de parcela, mapas de vegetación. El análisis de estos datos permite la ubicación aleatoria de 7 puntos para la toma de las muestras figura 2. En cada zona fueron colocados anillos de poca profundidad que permiten obtener información global de los elementos que contribuyen a la respiración de suelo.

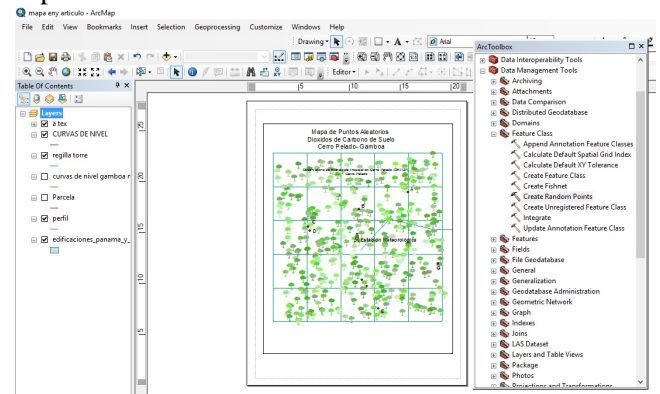


Figura 2. Software especializado para la toma aleatoria de muestras de campo.
Fuente: Autor.

Se establece cuantificar el carbono de suelo utilizando una Cámara Dinámica Cerrada, o DCC, el cual mantiene en equilibrio las presiones dentro y fuera de la cámara, la DCC tipo Li-COR 6400XT-09, integra

una sonda de temperatura de suelo y un sensor de porcentaje de humedad dentro de la cámara, que permite integrar la información a los datos de carbono [7]. La Li-COR 6400XT-09, es un sistema de cámara abierta, el cual garantiza en su ciclo automatizado que las mediciones de flujo de CO₂ son precisas y repetibles. Para establecer la variable pendiente se utiliza modelo matemático lineal.

Los valores de campos se capturan de manera puntual entre 2 y 3 veces a la semana por toda la temporada de verano. Se establece que por cada punto de muestro se toma un aproximado de 630 mediciones de CO₂ de suelo, humedad dentro de la cámara y temperatura de suelo. Estas medidas son obtenidas por medio de los sensores de humedad y temperatura incorporados en la cámara de respiración de suelo.

- Tasa de respiración del suelo: velocidad a la cual se emite CO₂ desde el suelo hacia la atmósfera, medida en $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en cada uno de los anillos insertados en el suelo.
- Temperatura del suelo: temperatura (°C) integrada entre 0 y 20 cm de profundidad del suelo, tomada a poca distancia (5-10 cm) del anillo.
- Humedad Relativa del suelo: contenido volumétrico de agua (% volumen) dentro de la cámara.
- Intensidad Lumínica: cantidad de luz disponible y aprovechable por los árboles o la vegetación, medida en valores lux.

Para determinar la intensidad lumínica en el punto de muestreo fue usado el TES-1336A LUXOMETRO DIGITAL, el cual registro de forma puntual valores lux de iluminación. La determinación de tipo de suelo se establece por medio del método de especificación de colores Munsell, es una herramienta útil, económica y fácil de manipular para la evaluación de color del suelo en campo como en el laboratorio [8]. Este sistema es un producto que integra los rayos de luz dispersos, más las propiedades físicas químicas y biológicas del suelo [9]. Debida a que la muestra de suelo es superficial, esta permite captar atributo más relevante utilizado en la separación de horizontes y tiene una estrecha relación con los principales componentes sólidos de este recurso.

En el análisis de datos estadísticos se utiliza el software STATGRAPHICS, herramienta que permite el análisis de datos estadísticos. Se establece un tratamiento estadístico de datos utilizando análisis de la varianza ANOVA.

3. Resultados

La tasa promedio de respiración del suelo, estimada con base en el promedio de los siete (7) puntos establecidos en la hectárea de estudio de Cerro Pelado, dio como resultado el valor de $3.56 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Ver tabla 1, figura 2.

Tabla 1. Análisis estadísticos de datos de campo

Punto	Resp. de Suelo ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa en la Cámara del suelo (%)	Iluminación (Lux)	Pendiente del terreno (%)
A	3.67	27.9	62.1	407	26.60
B	2.67	28.0	69.3	409	9.10
C	3.55	28.1	70.5	759	9.50
D	3.51	28.6	70.3	757	15.90
E	3.76	28.6	71.5	469	25.10
F	3.68	29.9	71.4	624	22.90
G	4.03	29.6	65.6	742	39
Promedio	3.56	28.7	68.67	595.29	

Datos obtenidos de variables definidas para este estudio.

Fuente: Datos recopilados por el autor.

Con estos cálculos se logra obtener que para la hectárea de estudio la respiración del suelo equivale a 0.14 ton CO₂ por hectárea por día. Realizando un cálculo con proyección anual, el resultado de respiración suelo obtenido para esta hectárea resultó de 49.33 ton de CO₂.

Los valores de temperatura obtenidos en este estudio están dentro del rango de 25.6 C° y 32.1 C°, utilizando un sensor de temperatura ubicado a 15 centímetros de profundidad en el suelo.

El contenido de humedad relativa de la cámara del suelo encontrado en esta investigación se mantuvo dentro el rango de 23.1 y 87.2%.

El análisis de correlación entre Resp. de CO₂ y Temperatura indica que, la Respiración de CO₂ = $8.45784 - 0.171188 * \text{Temperatura}$, determinado que el p-valor ANOVA es inferior a 0.01. Para la correlación de Respiración de CO₂ = $3.0181 + 0.00782164 * \%$ de

humedad relativa, la relación lineal de estas variables es muy baja ya que el R^2 sólo corresponde a un 0.0128924.

En términos generales la intensidad lumínica, se mantuvo de forma uniforme en todos los puntos; el valor promedio de esta variable fue de 595 Lux. Es importante indicar, que esta variable fue medida, ya que es el factor más importante en el crecimiento y desarrollo de los árboles y es la fuente de energía para todos los procesos fisiológicos que se dan en la vegetación y el suelo por que interviene en la producción de alimentos o de materia orgánica imprescindibles para el desarrollo de los ecosistemas.

El color de suelo más predominante en la hectárea de estudio fue el color marrón; esto se debe a que el suelo está muy asociado a estados iniciales a intermedios de alteración y mantiene una relación con condiciones de niveles medios a bajos de materia orgánica y un rango muy variable de fertilidad. Para cada variable bajo estudio se desarrolló un análisis de regresión lineal, las cuales arrojaron que para cada uno de estos valores no existe relación significativa entre las variables y el CO_2 del suelo.

El análisis ANOVA indica que para la relación entre Flujo de CO_2 y las variables estimadas no existe una relación estadística tabla 2. Dentro del área de estudio el flujo de carbono varía en los rangos de 2.67 a 4.03 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ tabla 2, establecidos los puntos E y G figura 2 como zona de mayor capacidad.

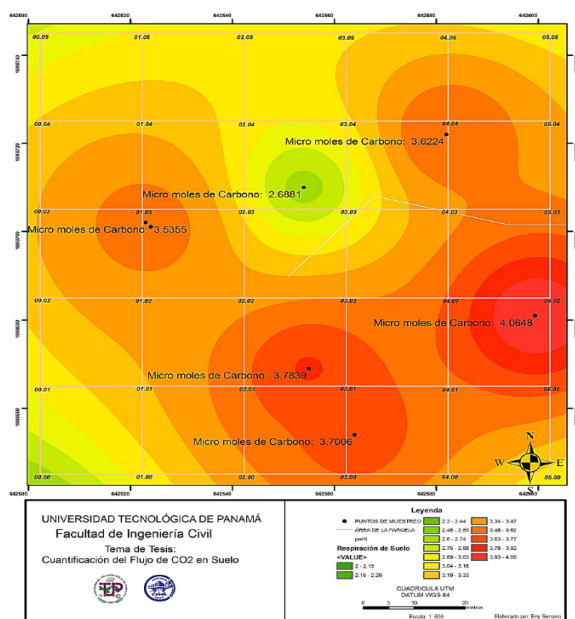


Figura 2. Mapa de flujo de carbono de suelo, valores promedio.

Valores espaciales de las interpolaciones de datos desarrollados para la parcela en estudio. Fuente: datos recopilados por autor.

4. Discusión

La tasa de respiración de suelo en la parcela estudiada fue relativamente homogénea. De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de regresión lineal realizado para las variables de temperatura y humedad relativa, se logró observar que ambas variables no mantienen una relación estadísticamente significativa sobre respiración del suelo.

La relación entre el contenido de humedad y la iluminación con la respiración del suelo, envuelve interacciones complejas que dependen de la limitación relativa de estas dos variables sobre la actividad microbiana y de raíces. [10], [11] Sin embargo, la importancia de cada factor varía entre diferentes ambientes y ecosistemas. Se ha encontrado que la temperatura de suelo explica una proporción sustancial de la variación de la respiración del suelo principalmente en bosques húmedos [12], [13].

Los valores de respiración de suelo encontrada en la hectárea de estudio (Bosque Húmedo Tropical) para esta investigación fueron de 49.33 $\text{t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, indicando que en comparación con tasas de respiración de suelo en bosque tropicales tabla 3, Panamá, tienen mayor flujo de carbono de suelo.

Tabla 2. Datos comparativos de tasas de respiración de suelo

Tipo de Bosque	Tasa de respiración del suelo ($\text{t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)
Bosques tropicales y subtropicales [14]	8.9 – 15
Bosques primarios, bosques Secundarios Porce, Colombia [15]	15.91 14.03
Bosque lluvioso Amazonia and in Cerrado in central Brazil[16]	20.81
Bosque subtropical South China[17]	11.48
Bosque Lluvioso Hawaiian rainforests[18]	6.5 - 8.9

Bosque tropical secundario Colombia[19]	14. 56 - 18. 83
Bosque tropical húmedo Secundario Gamboa – Cerro Pelado/ Panamá	49.33

Tasa de respiración de suelo en bosques tropicales y subtropicales. Fuente: datos recopilados por el autor.

5. Conclusiones

Los suelos son el mayor reservorio de carbono en los ecosistemas terrestres y a su vez la mayor fuente de CO₂ atmosférico, el cual es producido mediante un proceso denominado respiración del suelo.

La tasa promedio de respiración del suelo, estimada con base en el promedio de los siete (7) puntos establecidos en la hectárea de estudio de Cerro Pelado, dio como resultado el valor de 3.56 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \pm 0.423$. Por los resultados obtenidos en el análisis de regresión lineal realizado para las variables de temperatura, humedad relativa e iluminación, se logró obtener que estas variables no mantienen una relación significativa sobre la respiración del suelo.

Varios estudios en bosques tropicales mencionan valores muy disímiles de respiración del suelo lo cual puede deberse, en gran medida, a la diversidad de técnicas con las que se ha monitoreado este proceso.

Podemos indicar que para la hectárea de estudio localizada en Cerro Pelado la respiración del suelo equivale a 0.14 ton CO₂ por día equivalente a 49.33 ton de CO₂ ha⁻¹ año⁻¹.

Se debe tratar de reducir el desequilibrio y evitar que los bosques se conviertan en una fuente emanación dióxido de carbono. Debido a la gran extensión de la superficie boscosa, se estima que, combinando estrategias de conservación forestal con proyectos de reforestación en todo el mundo, los bosques podrían resultar sumideros netos de carbono durante los próximos cien (100) años lo que permitirá reducir de 20% a 50% las emisiones de carbono a la atmósfera [20], para mitigar, con ello, el cambio climático.

Con el desarrollo de conocimientos sobre la dinámica del flujo de carbono entre los bosques y la atmósfera se busca lograr que países en desarrollo, utilicen los bosques como sumideros de carbono para captar fondos mediante proyectos financiados por los países desarrollados, que se comprometieron a reducir sus emisiones con el Protocolo de Kyoto.

6. Agradecimientos

Agradecemos al Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas de la Universidad Tecnológica de Panamá, ya que por medio del Proyecto de investigación COL07-011 “Cuantificación del Flujo de Carbono a través de un bosque húmedo tropical en la cuenca del canal de Panamá”, nos facilitaron el equipo y documentación necesarios para el desarrollo de este proyecto.

Al personal técnico de Consultoría Estudio y Diseños S.A., por facilitarnos sus equipos para realizar mediciones.

Al Dr. Reinhard Pinzón, apoyo en revisión de traducción.

7. Referencias

- [1] [1] MALHI, Yadvinder; GRACE, John. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends in Ecology & Evolution*, 2000, vol. 15, no 8, p. 332-337.
- [2] [2] ROBERT, Michel. *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Food & Agriculture Org., 2002.
- [3] [3] SINGH, J. S.; GUPTA, S. R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *The botanical review*, 1977, vol. 43, no 4, p. 449-528.
- [4] [4] Orjuela, H. B. (1989). *El suelo: una visión sobre sus componentes biogénicos*. Universidad de Nariño.
- [5] [5] Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R., & Riahi, IPCC, 2007: *climate change 2007: synthesis report*. IPCC, 2008.
- [6] [6] Pinzón, R., Fábrega, J., Vega, D., Vallester, E. N., Aizprúa, R., López-Serrano, F. R., ... & Espino, K. (2012). Estimates of biomass and fixed carbon at a rainforest in Panama. *Air, Soil and Water Research*, 5, 79.
- [7] [7] Licor.com. (2017). LI-6400XT Chambers & Accessories | LI-COR Environmental. [online] Available at: https://www.licor.com/env/products/photosynthesis/LI-6400XT/chambers/soil_chamber.html [Accessed 28 Feb. 2017].
- [8] [8] Domínguez Soto, J. M., Gutiérrez, R., Delia, A., Prieto García, F., & Acevedo Sandoval, O. (2012). Sistema de notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(1), 141-155.
- [9] [9] Velázquez-García, J. D. J., Oleschko, K., Muñoz-Villalobos, J. A., Velásquez-Valle, M. A., Girón-Ríos, Y., Martínez-Menes, M., & Figueroa-Sandoval, B. (2007). El color del Andosol como un indicador de su calidad física bajo el manejo. *Terra Latinoamericana*, 25(1), 1-8.
- [10] [10] Davidson, E., Belk, E., & Boone, R. D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global change biology*, 1998, vol. 4, no 2, p. 217-227.
- [11] [11] Schwendenmann, L., Veldkamp, E., Brenes, T., O'Brien, J. J., & Mackensen, J. Spatial and temporal variation in soil CO₂ efflux in an old-growth neotropical rain forest, La Selva, Costa Rica. *Biogeochemistry*, 2003, vol. 64, no 1, p. 111-128.

- [12] [12] FANG, C.; MONCRIEFF, J. B. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, vol. 33, no 2, p. 155-165.
- [13] [13] Boone, R. D., Nadelhoffer, K. J., Canary, J. D., & Kaye, J. P. Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration. *Nature*, 1998, vol. 396, no 6711, p. 570-572.
- [14] [14] RAICH, J. W.; SCHLESINGER, W. H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus B*, 1992, vol. 44, no 2, p. 81-99.
- [15] [15] PALACIO, Álvaro Andrés Ramírez; HURTADO, Flavio Humberto Moreno. Respiración microbiana y de raíces en suelos de bosques tropicales primarios y secundarios (Porce, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 2008, vol. 61, no 1, p. 4381.
- [16] [16] Meir, P., Grace, J., Miranda, A., & Lloyd, J. Soil respiration in a rainforest in Amazonia and in cerrado in central Brazil. *Amazonian deforestation and climate*, 1996, vol. 1, p. 319-330.
- [17] [17] Yan, J., Wang, Y., Zhou, G., & Zhang, D. Estimates of soil respiration and net primary production of three forests at different succession stages in South China. *Global Change Biology*, 2006, vol. 12, no 5, p. 810-821.
- [18] [18] RAICH, James W. Aboveground productivity and soil respiration in three Hawaiian rainforests. *Forest Ecology and Management*, 1998, vol. 107, no 1, p. 309-318.
- [19] [19] MORENO-HURTADO, Flavio H. Soil carbon dynamics in primary and secondary tropical forests in Colombia. 2004.
- [20] [20] HOUGHTON, John T. *Climate change 1995: The science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 1996.